

Effets du type d'apprentissage dans une tâche de discrimination temporelle : une optique développementale.

Emilie SCHAEFFER

Juin 2007



Mémoire de première année de Master en psychologie du développement

Présenté à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg 1

Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation

Sous la direction de Mme Céline CLÉMENT

Remerciements

Je remercie tout d'abord Madame Clément qui a accepté de m'encadrer pour ce travail malgré la distance, et s'est toujours montrée disponible par e-mail et lors de mes visites.

Merci également à Monsieur Frankinet pour m'avoir autorisé à effectuer les passations dans son établissement, ainsi qu'aux parents et enfants qui ont accepté de participer.

De même, je remercie les étudiants qui ont collaboré à cette étude.

J'adresse un « merci » tout particulier à Katharina, pour les nombreux échanges que nous avons eus grâce aux divers moyens de communication qu'offre la technologie moderne. Merci pour cet effort et ton sang froid dans les situations extrêmes, ainsi que tes coups de main de Strasbourgeoise.

Merci à Brigitte et Rémi, deux cokoteurs qui ont su maintenir une ambiance agréable pour notre travail tout au long de l'année. Pour les mêmes raisons, merci à Garfield et Jon, www.phdcomics.com, Boule et Bill, Paul, et Le Chat.

Merci à mes parents et à Thomas pour leurs encouragements de loin comme de près. Et particulièrement à Maman pour l'impression de toutes ces pages.

Table des matières

1	Modèles de discrimination temporelle	4
1.1	Scalar Expectancy Theory (SET)	4
1.2	Learning to time Model (LeT)	8
1.3	Confrontation des deux modèles	10
2	Procédures utilisées dans la discrimination-généralisation	12
2.1	Type d'apprentissage : différentiel vs non-différentiel	12
2.2	Type de réponse : oui/non vs go/no-go	15
3	Problématique	17
4	Méthode	17
4.1	Sujets	17
4.2	Matériel	17
4.3	Procédure	17
5	Résultats	20
5.1	Effet de la durée	20
5.2	Effet de l'âge	21
5.3	Effet du type d'apprentissage	23
6	Discussion	27

Introduction

La régulation temporelle du comportement est une capacité que nous mettons en oeuvre quotidiennement. En effet, nos comportements dépendent de plusieurs facteurs, dont le passage du temps. Nous apprenons par exemple à attendre et à prévoir la sonnerie de la fin d'un programme de four micro-ondes. De même au niveau du contrôle moteur, nous attendons la durée nécessaire avant la vibration des cordes vocales pour prononcer un /ba/ plutôt qu'un /pa/. Ces performances nécessitent de discriminer l'environnement sur la dimension temporelle.

Dans notre première partie, nous présenterons plusieurs modèles théoriques expliquant la discrimination temporelle, puis les résultats recueillis dans les procédures dites de discrimination temporelle, avec différents types d'apprentissage et de réponse. Dans une seconde partie, nous présenterons notre expérience ainsi que nos résultats. Enfin, les résultats seront discutés au regard des modèles et procédures présentés précédemment.

1 Modèles de discrimination temporelle

Il existe dans la littérature plusieurs modèles théoriques pour expliquer la régulation et la discrimination du temps. Ceux-ci ont déjà été listés et exposés dans d'autres travaux (Clément, 1999 ; Ferrara, 1999 ; Rattat 2003). Revenons sur deux des modèles majeurs : la SET (Gibbon, 1977) et le LeT (Machado, 1997).

1.1 Scalar Expectancy Theory (SET)

La théorie du temps scalaire a été proposée par Gibbon en 1977 pour expliquer les comportements liés au passage du temps chez l'animal, puis développée par Gibbon, Church, et Meck (1984). Elle a eu un succès plus récent dans les années 1990 chez l'humain, pour lequel Wearden adapte le modèle initial. La SET postule que le traitement de l'information temporelle fait appel à trois composantes : une mémoire, une horloge, et un comparateur. Le temps est alors perçu comme une donnée scalaire, répondant à plusieurs propriétés.

1.1.1 Propriétés

La SET est caractérisée par deux propriétés :

La loi de Weber ou propriété scalaire (Gibbon & Church, 1981) : le coefficient de variation, ou fraction de Weber est formulé comme suit : $\sigma^2(t^*)/\mu^* = c$. Ainsi, l'écart-type de l'estimation de la durée t divisé par la moyenne estimée est une constante. Cela signifie que plus la durée estimée est grande, moins la discrimination est précise. La précision dans la discrimination en fonction de la durée estimée est alors linéaire¹.

La propriété de superposition (*superimposition*) ou d'adéquation (*overmatching*) est en fait une manifestation directe de la loi de Weber : quand les temps réels sont mis à échelle relative, les données sont identiques : les distributions des réponses en fonction des durées ont la même moyenne relative et le même écart-type relatif.

La loi de Weber et la superposition forment la propriété scalaire. Mais le temps scalaire dépend encore d'une autre propriété que l'on retrouve dans la littérature sous le nom de « précision moyenne » (*mean accuracy*). Elle stipule que la représentation d'un temps réel est exacte (Wearden & Culpin, 1994) et elle s'applique aussi à d'autres modèles que nous ne détaillerons pas ici (Clément, Darcheville & Rivière, 2001). Ainsi, dans la SET, l'horloge interne doit représenter un temps à l'identique du réel.

1.1.2 Composants

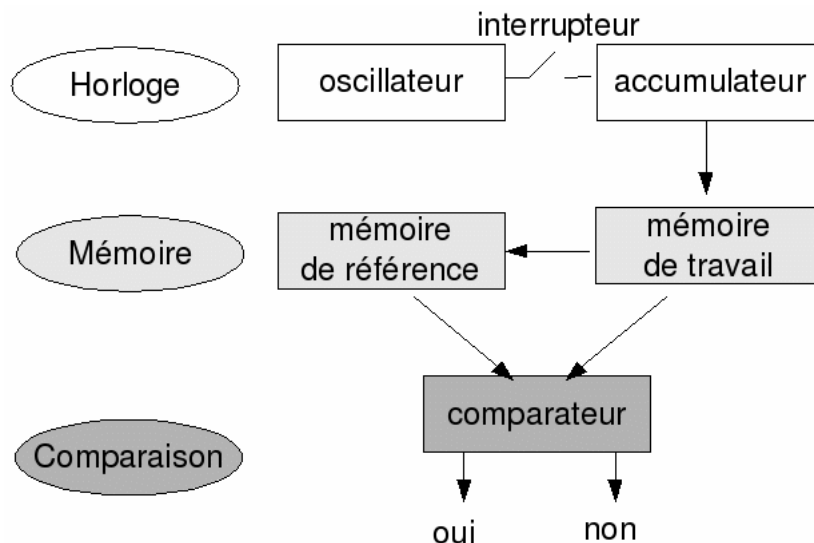


FIG. 1 – Les composants de la SET, d'après Gibbon, Church & Meck (1984).

¹Weber déclare que nous sentons le rapport des différences. Ainsi, la différence de sensation reste égale quand le rapport des excitations reste égal. La première formulation mathématique de cette loi est l'oeuvre de Fechner. (Nicolas, 1998). Pour une illustration de la loi de Weber avec des poids, voir schéma des « balances » en annexe.

La théorie du temps scalaire met en jeu les trois processus suivants (fig.1) : une horloge, une mémoire, et un processus de comparaison.

L'horloge (fig.2) est constituée d'un oscillateur, d'un interrupteur, et d'un accumulateur. L'oscillateur produit des impulsions à une certaine fréquence. Ceux-ci sont envoyés à l'accumulateur via un interrupteur qui se ferme au début de la durée à enregistrer et s'ouvre de nouveau à la fin. L'accumulateur compte les impulsions et les transforme en une valeur : le nombre de pulsations. Ainsi, l'horloge génère les représentations des durées en mémoire de travail. Il existe plusieurs hypothèses à propos de la fréquence de pulsation de l'oscillateur. Sa fréquence pourrait varier de façon aléatoire selon les essais, ou d'après une loi de Poisson, ou encore en fonction de la fréquence du renforçateur (Gibbon & Fairhurst, 1994).

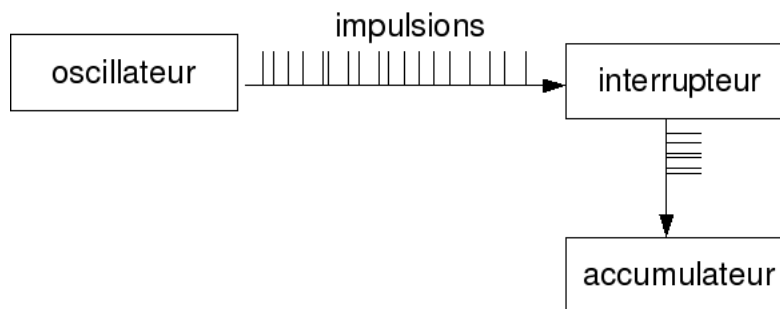


FIG. 2 – Une horloge.

Le processus mnésique en jeu dans la SET est constitué d'une mémoire de travail et d'une mémoire de référence. La mémoire de référence conserve les « temps importants » c'est à dire les durées que l'on a cherché à faire apprendre au sujet. Pour ce faire, les temps ont été associés à un renforcement, expérimentalement en étant spécifiés comme standard chez l'humain, ou en entraînant l'obtention d'un renforçateur chez l'animal. Dans la suite du texte, cette durée critique sera appelée « standard ». Les estimations de la durée standard forment une distribution gaussienne, dont la moyenne et la variance sont proportionnelles à la durée. Ceci justifie le terme « scalaire » (Lejeune & Macar, 1994). La mémoire à court terme, quant à elle, garde les nouvelles valeurs à comparer à la durée standard. On les appellera « durée de comparaison ». Dans une optique développementale, notons qu'une évolution de la précision de la mémoire de référence avec l'âge est suggérée chez l'enfant (Droit-Volet, Clement & Wearden, 2001).

Le processus de comparaison implique un comparateur jouant un rôle dans la décision et la réponse. La comparaison correspond à un rapport entre la valeur de la durée standard contenue en mémoire de référence (s^*) et la valeur de la durée du nouveau stimulus (t) en mémoire à court terme. La

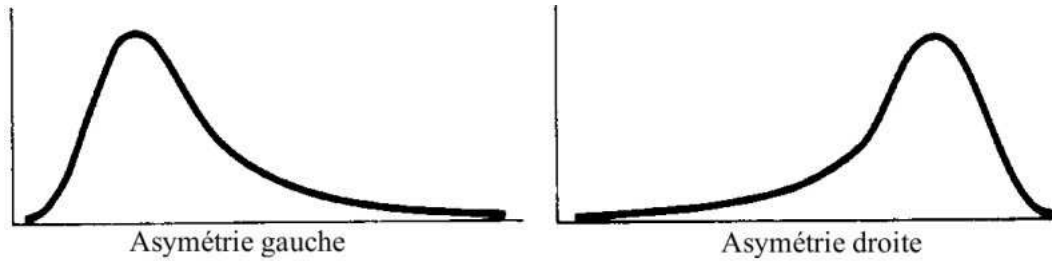


FIG. 3 – Allure des courbes asymétriques par rapport à la normale. A gauche : courbe asymétrique gauche ; à droite : courbe asymétrique droite.

comparaison des deux durées permet une prise de décision quant à la réponse, établie à partir d'un certain seuil. Plusieurs types de comparaison sont possibles, comme par exemple « suffisamment proche », « plus grand », etc. Les réponses peuvent être représentées graphiquement par un gradient de généralisation : la proportion d'une réponse² en fonction de la durée du stimulus de comparaison. La règle de réponse a évolué avec le modèle. Ainsi pour les rats en 1984, Church et Gibbon proposent que la différence entre la durée standard stockée (s^*) et le nouveau temps (t), normalisée par la durée standard (s^*), est comparée à un seuil b^* . Ainsi, lorsque $|s^* - t|/s^* < b^*$ alors le nouveau temps est suffisamment proche du standard, et lorsque $|s^* - t|/s^* > b^*$ alors le nouveau temps est jugé différent du standard. En 1992 dans le Modified Church and Gibbon model (MCG), Wear-den adapte cette formule à l'adulte en normalisant la différence par la durée de comparaison (t), rendant ainsi compte de l'asymétrie droite (fig.3) des gradients observés : $|s^* - t|/t > b^*$. En 2001, Droit-Volet et ses collaborateurs observent une asymétrie gauche dans les gradients des enfants. Celle-ci serait dûe à un biais de représentation de la durée : la durée standard en mémoire serait plus courte que la durée réelle. Ainsi, ils proposent d'ajouter deux paramètres p et k pour établir une version développementale du modèle MCG : p est la proportion de réponses « oui » émises au hasard à chaque essai, indépendamment de la durée de comparaison ; et k est un coefficient de distortion appliqué à la valeur du standard en mémoire de référence. Finalement en 2002, l'idée d'établir un modèle rendant compte de cette distortion en mémoire est abandonnée. En effet, les nouveaux résultats avec des stimuli standards plus longs sont cohérents avec le modèle, sans faire varier les paramètres p et k (Droit-Volet, 2002).

1.1.3 Critiques du modèle

Les horloges internes impliquées dans différents modèles y compris la SET sont qualifiées d' « hypothétiques ». En effet, l'existence même d'une horloge interne n'a pas été directement montrée,

²Par exemple la quantité de réponses « oui, la durée de comparaison est suffisamment proche du standard » rapportée à la quantité de « non, ce n'est pas suffisamment proche ».

car aucun organe sensoriel et aucune structure cérébrale précise n'a pu être défini comme assumant la tâche d'horloge dans la discrimination du temps (Clément, 2004). D'autre part, comme nous l'avons vu au niveau du processus de comparaison, le modèle de traitement de l'information qu'est la SET a été sujet à des modifications à plusieurs reprises. Dans un sens, il est compréhensible qu'un modèle développé pour des rats nécessite une adaptation pour être valide auprès d'humains (Modified Church and Gibbon Model, de Wearden), et de même pour valider les résultats auprès d'enfants (Droit-Volet et al., 2001). Un modèle à oscillateurs couplés a également été dérivé de la SET. C'est pourquoi nous avons choisi de présenter ci-après le LeT, qui semble plus stable selon les espèces et au fil des études, et propose une alternative à l'existence d'une horloge interne.

1.2 Learning to time Model (LeT)

La SET n'a pas été le seul modèle de référence depuis les années 1980. Elle doit en effet partager la scène avec la BeT (Behavioral Theory of timing) développée par Killeen et Fetterman en 1988, et le Learning to time Model (LeT) de Machado (1997), qui en est dérivé.

1.2.1 LeT : dérivé de la BeT

La BeT n'exclue pas une horloge interne, mais s'éloigne des conceptions cognitivistes de la SET. Les impulsions activent des états comportementaux successifs chez l'animal. Ceux-ci ont alors une fonction de stimulus discriminatif³, et sont liés aux réponses opérantes. Contrairement à la SET où le débit de la base de temps peut varier aléatoirement d'un essai à l'autre, la BeT fait varier celui-ci en fonction du renforcement (Wearden, 1994b). En décrivant tous deux le comportement de l'animal après l'exposition aux renforcements, aucun des deux modèles n'explique l'apprentissage en temps réel entre réponse et stimulus, c'est-à-dire l'acquisition de la régulation temporelle. C'est ce que tente d'introduire le LeT (Machado, 1997). Machado pose trois objectifs : définir comment le temps contrôle le comportement de l'animal ; éviter les suppositions *ad hoc* sur le processus d'apprentissage, puisque certaines se sont montrées incompatibles entre elles ; intégrer les connaissances encore déconnectées. Le modèle devra alors répondre à trois exigences : décrire comment la régulation temporelle se développe en temps réel en tenant compte des renforcements ; spécifier comment le processus de régulation temporelle traduit les comportements observés ; satisfaire les contraintes empiriques établies précédemment de façon statique. Le modèle LeT se veut donc être un modèle comportemental et dynamique.

³Le stimulus discriminatif est un élément précédant la réponse opérante, qui indique la spécificité des contingences de renforcement. (Clément, 2006).

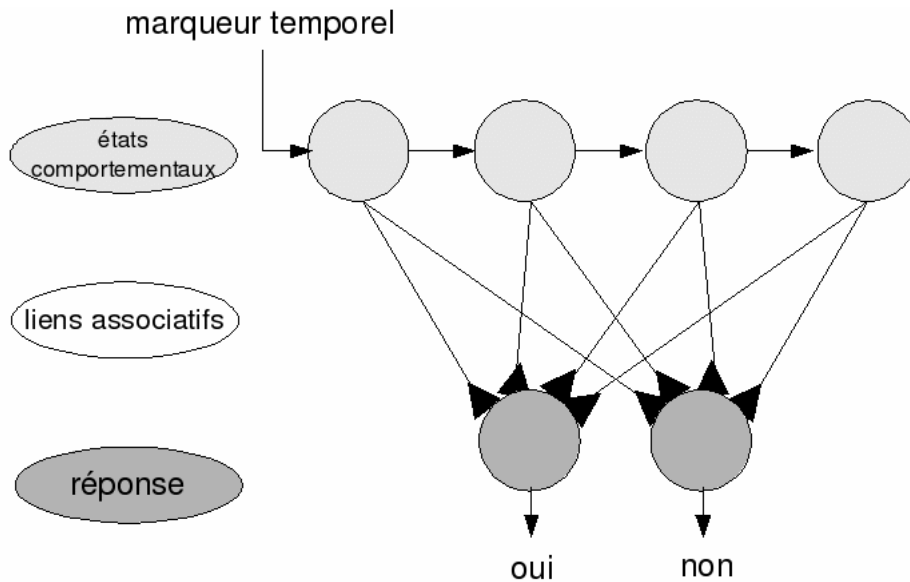


FIG. 4 – Modèle LeT, d’après Machado, 1997.

1.2.2 Composants

Le LeT, traduit en « modèle de l’apprentissage temporel », ne suppose pas d’horloge interne. Il considère que les comportements, au lieu d’exprimer une horloge, la constituent en eux-mêmes. Les marqueurs temporels (comme la nourriture) activent successivement les états comportementaux. Comme décrits plus haut pour la BeT, les états comportementaux sont organisés en série. Chacun est lié par des liens d’association plus ou moins forts aux réponses opérantes possibles, et la force de ces liens dépend des renforcements (fig.4).

La série d’états comportementaux est déclenchée par un marqueur temporel tel que l’apport de nourriture. L’activation de ces états se fait ensuite de façon sérielle, avançant comme une onde dans un seul sens. L’activation de chaque état comportemental dépend d’une variable temps et s’exprime en force d’activation. Celle-ci est définie par quatre équations que le lecteur intéressé pourra retrouver (Machado, 1997) et que Machado illustre par une cascade d’eau à plusieurs paliers.

Des liens associent chaque état comportemental à la réponse opérante. Ces liens sont plus ou moins forts et se modifient en temps réel : lorsqu’il y a renforcement le lien augmente, alors qu’il diminue lorsqu’il y a extinction. Le degré d’influence du renforcement ou de l’extinction sur le lien d’association dépend de la force d’activation de l’état comportemental : plus l’état comportemental est activé, plus les liens d’associations sont sensibles.

Machado postule une unique règle de réponse. La force de la réponse dépend de la force des liens d’association et de la force d’activation de l’état comportemental correspondant. Ainsi, un état

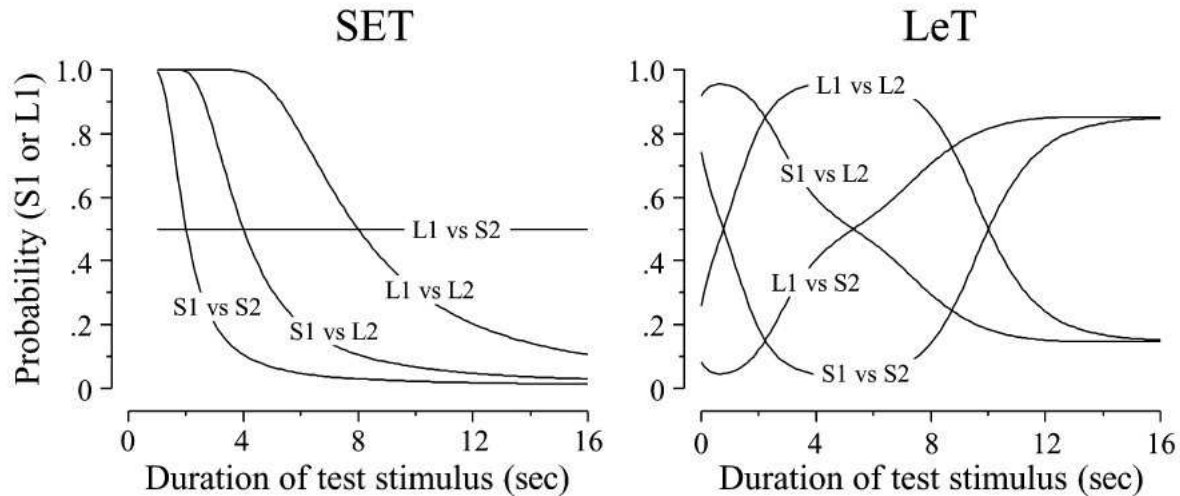


FIG. 5 – Prédiction de la SET et de la LeT pour les tâches de double bisection. S1 = 4s ; S2 = 4s ; L1 = 4s ; L2 = 8 ou 16s. Visuellement, L1 vs S2 et S1 vs L2 sont les tests les plus pertinents. D’après Machado et Pata (2005).

comportemental à la fois fort activé et avec une forte liaison à la réponse opérante, présente un contrôle de la réponse supérieur à un état faiblement activé ou avec une liaison faible à la réponse.

1.3 Confrontation des deux modèles

Dès 1999, Machado et Keen tentent de départager les modèles SET et LeT de façon empirique. Ils perfectionnent leur procédure en 2005 (Machado & Pata, 2005) et mettent en place une tâche où les prédictions des deux modèles diffèrent (fig.5). Ils comparent les résultats empiriques à chacune des prédictions pour en déterminer la plus exacte. Cette tâche de « double bisection⁴ » consiste en deux apprentissages puis quatre tests. Les pigeons apprennent dans un premier temps deux durées associées à deux clés de couleur (S1 : 1s - rouge ; L1 : 4s - vert), puis deux autres durées associées à deux autres clés (S2 : 4s - bleu ; L2 : selon la condition 8s ou 16s - jaune). En phase test, deux clés de couleur sont présentées à la fois, avec toutes les combinaisons possibles de clés (sauf les deux combinaisons apprises), pour des stimuli allant de 1 à 8s ou 2 à 16s, selon la condition. Les résultats valident les prédictions de la LeT, et rejettent celles de la SET (fig.6). Nous pouvons relever une situation particulière : le test où sont présentées les deux clés associées à une durée de 4s

⁴La tâche de bisection simple est constituée d’une phase d’apprentissage et d’une phase test. Lors de l’apprentissage, chacun des deux stimuli est associé à une clé de réponse. Lors du test, des stimuli de comparaison de différentes durées sont présentés. Les sujets donnent plus fréquemment la réponse associée lors de l’apprentissage au stimulus le plus proche. Les données recueillies et représentées graphiquement sont les réponses sur l’une des deux clés en fonction de la durée de comparaison. En bisection simple, les modèles SET et LeT font les mêmes prédictions.

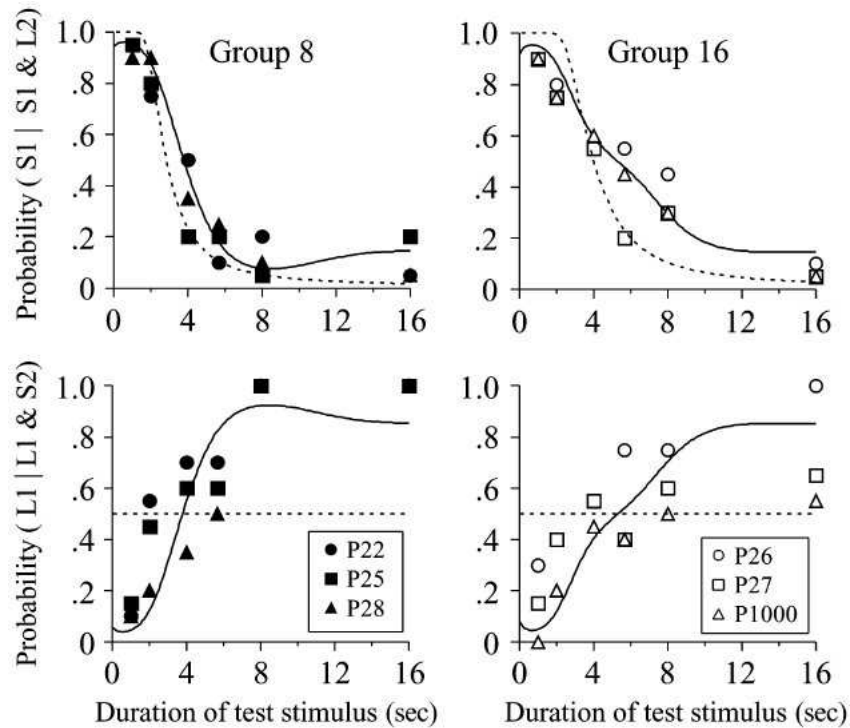


FIG. 6 – Résultats aux tâches de double bisection et prédictions de la SET et de la LeT en fonction des durées de comparaison. En haut, probabilité de la réponse S1 par rapport à S2 ; en bas, probabilité de la réponse L1 par rapport à S2. En ligne continue : prédiction de la LeT ; en ligne pointillée : prédiction de la SET ; points : résultats observés. A gauche, groupe 8s ; à droite, groupe 16s. D’après Machado & Pata (2005).

(i.e. L1 vs S2). La SET, considérant l’exactitude de la représentation des temps, prédit un nombre égal de réponses sur chacune des deux clés. En effet, chaque stimulus présenté sera comparé aux deux temps de référence égaux (4s). Ainsi, le résultat devrait être identique : la réponse a autant de probabilité d’apparaître pour chacune des clés, quel que soit le stimulus présenté. D’autre part, la LeT considère que lors du premier apprentissage, la durée de 4s était « longue » puisqu’apprise en même temps qu’une plus courte (i.e. 1s associée à la clé rouge), tandis que lors du deuxième apprentissage, celle-ci était considérée comme « courte » puisqu’apprise en même temps qu’une plus longue (i.e. 8s ou 16s associées à la clé jaune). Ainsi, ce ne sont pas les mêmes états comportementaux qui ont été activés dans les deux cas. Les pigeons devraient alors répondre davantage sur la clé « courte » en réponse aux stimuli les plus courts, et davantage sur la clé « longue » en réponse aux stimuli plus longs. Dans ce cas, la différence entre les deux modèles est grande et aisément compréhensible, et les résultats valident à nouveau la LeT. Nous ne nous permettons cependant pas ici de généraliser ces résultats à d’autres tâches.

2 Procédures utilisées dans la discrimination-généralisation

La discrimination-généralisation est une procédure en deux étapes, où tout d'abord une réponse spécifique est renforcée en présence d'un stimulus, puis les réponses sont mesurées lors de la présentation de différents stimuli, se distinguant du premier selon une dimension quantifiable (Donahoe & Palmer, 1994). Les résultats obtenus dans les différentes tâches de discrimination-généralisation dépendent inévitablement des procédures utilisées. Nous nous intéressons ici plus particulièrement au type d'apprentissage et au moyen de réponse, selon les populations étudiées.

2.1 Type d'apprentissage : différentiel vs non-différentiel

Un apprentissage non-différentiel est un apprentissage où un seul environnement est présenté au sujet, tandis qu'un apprentissage différentiel est un apprentissage où le sujet est soumis à différents environnements dans lesquels les réponses ont différentes conséquences (Donahoe & Palmer, 1994). Les tâches de discrimination-généralisation se déroulent en deux phases : l'apprentissage et le test. L'apprentissage non-différentiel consiste en plusieurs présentations d'une durée standard. L'apprentissage différentiel quant à lui consiste en plusieurs présentations de deux durées, dont l'une est le stimulus standard, appelé alors stimulus positif (S+ ou S1), et l'autre un stimulus appelé stimulus négatif (S- ou S2). Dans les deux types d'apprentissage, la réponse attendue suite à chaque présentation du stimulus standard ou positif est renforcée. Par contre, l'absence de réponse au stimulus négatif, qui est le comportement attendu chez l'animal (no-go), n'est pas renforcée. Les résultats obtenus avec les deux types d'apprentissages se distinguent par trois caractéristiques (fig.7) : le gradient issu d'un apprentissage différentiel est plus raide autour du pic, et particulièrement du côté du stimulus négatif ; le pic du gradient issu d'un apprentissage différentiel est décalé du côté opposé du stimulus négatif ; et le pic du gradient issu d'un apprentissage différentiel est plus haut que celui issu d'un apprentissage non-différentiel.

2.1.1 Chez l'animal

Chez l'animal, on procède surtout à des tâches de bissection, comme nous l'avons vu précédemment (cf.1.3). Dans celles-ci, l'animal a à sa disposition deux clés de réponse, l'une associée lors de l'apprentissage à une durée courte, et l'autre à une durée longue. Puis, lors du test, d'autres durées sont présentées. L'animal donne la réponse associée au stimulus le plus proche de la durée de comparaison, et ne bénéficie d'aucun renforcement. La variable dépendante est la proportion de

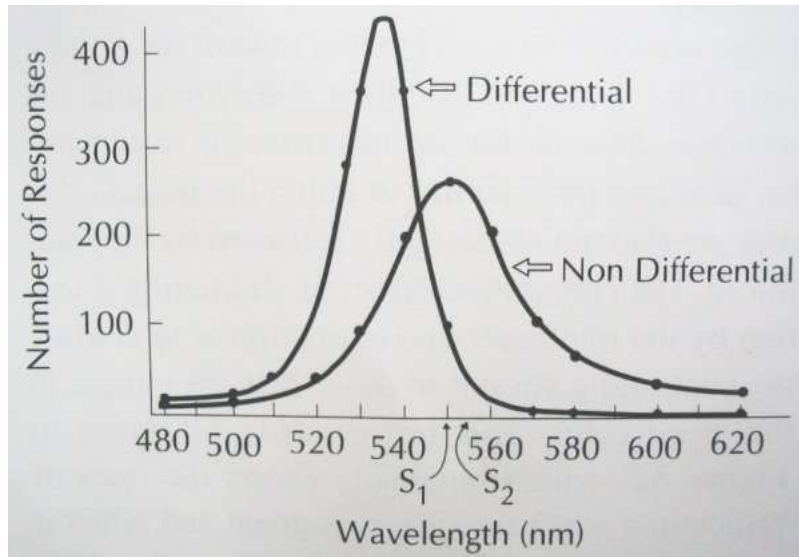


FIG. 7 – Gradients de généralisation obtenus après un apprentissage différentiel et un apprentissage non-différentiel, où $S_1 = 550\text{nm}$ et $S_2 = 555\text{nm}$. D’après Donahoe & Palmer (1994).

réponses « long » par rapport à la durée du stimulus de comparaison. On observe alors une courbe croissante (fig.8).

Elsmore (1971) réalise une tâche de discrimination-généralisation auprès de quatre pigeons en utilisant d’une part un entraînement non-différentiel et d’autre part un entraînement différentiel. Aucun des pigeons ne montre de contrôle temporel après l’entraînement non-différentiel, c’est à dire qu’ils donnent tous des réponses indifférenciées ; tandis qu’après un entraînement différentiel, les réponses sont beaucoup plus fréquentes autour du stimulus positif et beaucoup moins autour du stimulus négatif. L’apprentissage différentiel est alors plus efficace chez les pigeons pour obtenir des réponses différenciées. L’auteur explique l’absence complète de réponses différenciées suite

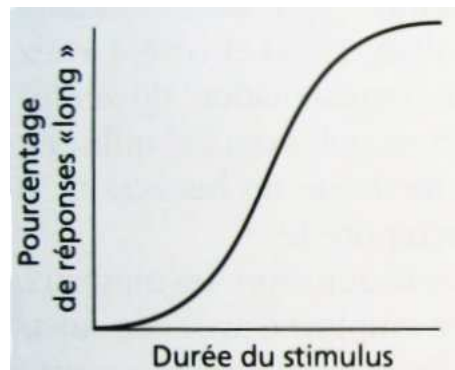


FIG. 8 – Courbe typique obtenue par bissection. D’après Doré & Mercier (1992).

à l'apprentissage non-différentiel par la nécessité d'un apprentissage plus explicite pour certaines dimensions, comme la durée et la fréquence sonore. Notons de plus que tous les sujets sont soumis en premier lieu à un apprentissage non-différentiel avant l'apprentissage différentiel, et que ce dernier bénéficie davantage de sessions avant le test. Enfin, l'objectif de l'étude à cette époque n'était pas de comparer les deux types d'apprentissage, mais de déterminer le temps comme une dimension du stimulus discriminatif contrôlant le comportement.

Jones et Wearden (2004), s'intéressant dans le cadre de la SET à l'interaction entre deux stimuli standards en mémoire de référence, citent en introduction un bon nombre d'études avec un ou plusieurs standards chez des rats. En aucun cas il ne s'agit d'apprentissage différentiel. Il est cependant important de noter la conclusion de cette étude, à savoir que chez l'humain, la conservation de plusieurs durées en mémoire de référence augmente la variabilité de leur représentation. Ainsi, l'apprentissage différentiel n'impliquerait pas forcément une meilleure précision dans les réponses.

2.1.2 Chez l'humain

A notre connaissance, il n'y a pas eu à ce jour d'études chez l'humain avec apprentissage différentiel. Voyons donc les résultats en apprentissage non-différentiel. En 1991, Wearden reproduit pour la première fois chez l'humain la procédure de discrimination-généralisation temporelle utilisée par Church et Gibbon avec les rats. Il précise ces travaux en 1992 (Wearden, 1992). Il utilise pour cela des stimuli auditifs de courte durée (100 à 700 ms pour les stimuli de comparaison, avec 400 ms pour standard). En phase test, après chaque présentation d'un stimulus, le sujet doit répondre s'il s'agissait oui ou non du standard appris. Les résultats considèrent les réponses « oui » et montrent un pic pour la durée standard, et une asymétrie droite. Cette asymétrie est une spécificité humaine, puisqu'elle n'apparaît pas chez les animaux. Wearden montre qu'elle ne dépend ni de la présentation des stimuli de comparaison (présentation linéaire ou logarithmique), ni du standard, et de façon négligeable de la probabilité d'apparition du standard en phase test.

Voyons à présent le type de résultats chez l'enfant. La première étude s'intéressant aux enfants dès trois ans est rapportée par Droit-Volet, Clément et Wearden en 2001. Celle-ci compare des enfants de 3, 5, et 8 ans, dans deux tâches de généralisation temporelle avec stimuli visuels courts et long. Les conclusions sont les suivantes (fig.9) : Le pic de réponses « oui » est bien présent autour du standard pour les trois âges étudiés. De plus, l'asymétrie droite observée chez les adultes apparaît seulement progressivement avec l'âge. En effet, à 3 et 5 ans, on compte autant de réponses « oui » de chaque côté du standard, tandis qu'à 8 ans, on en dénombre déjà davantage à droite, ce qui est bien cohérent avec le MCG model. Enfin, la quantité globale des réponses « oui » augmente

avec l'âge, présentant ainsi des gradients plus plats chez les plus jeunes enfants. Ceci serait dû au développement des capacités d'inhibition. On observe aussi, chez les plus jeunes, des réponses « oui » pour les durées extrêmes, expliquées par un certain nombre de réponses au hasard. Des résultats similaires ont été obtenus avec des stimuli auditifs longs et courts (Droit-Volet, 2002), et en modifiant le renforcement (Droit-Volet & Izaute, 2005).

2.2 Type de réponse : oui/non vs go/no-go

Il est possible d'enregistrer les réponses des sujets avec plusieurs clés différentes. En « go/no-go », on enregistre la quantité ou la fréquence d'activation d'une clé (pédale, levier, perchoir...), tandis qu'en « oui-non », le sujet a deux clés à sa disposition, et la variable dépendante est la proportion de « oui ». Voyons cela plus en détail.

Les études de discrimination temporelle chez l'animal utilisent une seule clé de réponse, en go/no-go. On obtient alors des gradients de généralisation. (Elsmore, 1971 ; Weisman et al., 1999).

La particularité de l'humain est qu'il comprend les consignes verbales. Ainsi, il est bien plus aisé d'utiliser deux clés de réponse : « oui » et « non ». La question posée au sujet est de cet ordre : « le son que vous entendez est-il de la même durée que celui que vous avez appris ? ». Dès l'établissement de la procédure chez l'humain (Wearden, 1992) les sujets disposent de deux clés « oui » et « non », et cela reste d'actualité (Droit-Volet & Izaute, 2005), et est généralisé aux procédures utilisées avec les enfants (Droit-Volet, 2002 ; Droit-Volet et al., 2001). Les résultats obtenus sont présentés dans le paragraphe précédent (fig.9).

Les réponses prises en compte dans le traitement des données sont les proportions de « oui » : pour chaque durée, la quantité de réponses « oui » est divisée par celle de « non ». Ainsi, les auteurs ne tiennent pas compte des non-réponses dans leur traitement graphique et statistique. En outre, les sujets présentant une trop faible proportion de « oui » (un maximum inférieur à 50% pour Droit-Volet et al., 2001) sont souvent écartés de tout traitement, sans pour autant qu'il y ait une précision sur leur taux de non-réponse. D'autre part, les enfants les plus jeunes émettent davantage de réponses « oui » quel que soit le stimulus présenté. Il s'agirait de réponses au hasard, et ces cas chez l'humain sont interprétés comme une spécificité de l'enfant. Cependant, en tenant compte des non-réponses dans le traitement, c'est-à-dire en considérant la proportion de « oui » par rapport aux « non » *plus* les non-réponses, les gradients apparaîtraient plus plats. A notre connaissance, ce type de traitement n'a pas encore été effectué.

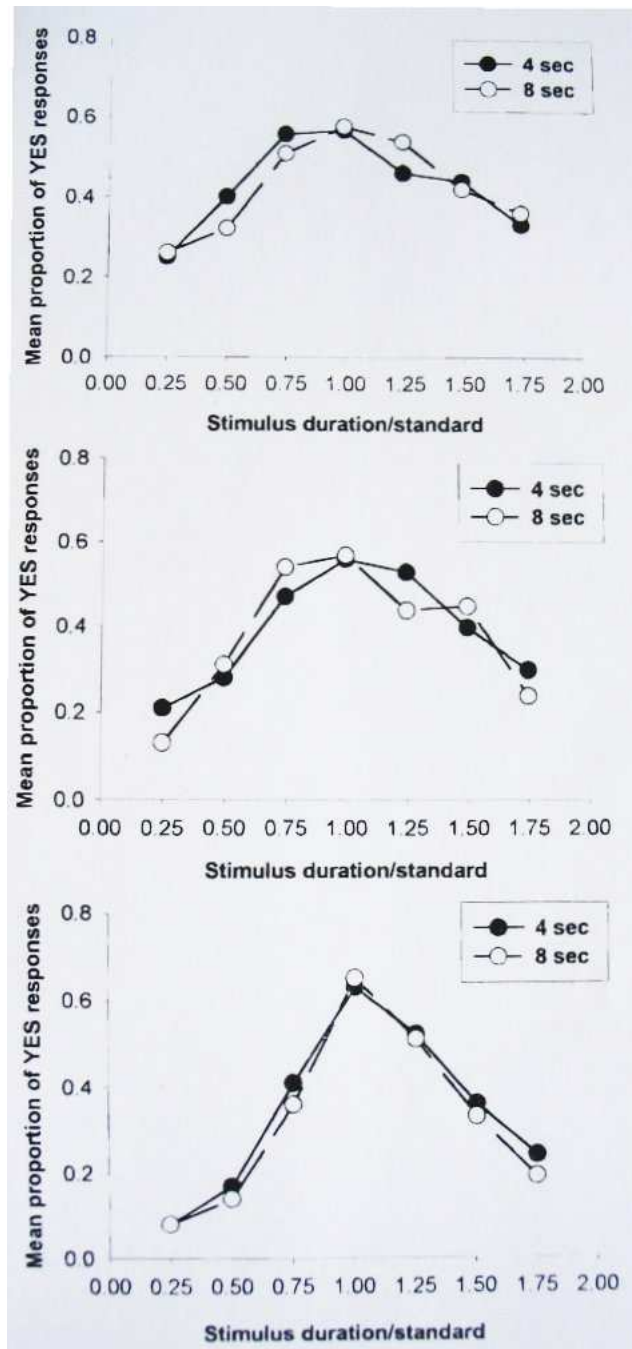


FIG. 9 – Proportion de réponse « oui » en fonction des durées de comparaison exprimées en multiple de durée standard, pour 4s et 8s. En haut, enfants de 3 ans ; au milieu, enfants de 5 ans ; en bas, enfants de 8 ans. Notons les différences de hauteur du pic, de raideur, et d'asymétrie, selon l'âge. D'après Droit-Volet, Clément & Wearden (2001).

3 Problématique

Il n'y a pas encore eu d'études de généralisation-discrimination temporelle avec apprentissage différentiel chez l'humain. Or, nous avons vu chez l'animal que le type d'apprentissage a un impact sur le gradient, et ce dernier traduit le contrôle du temps sur le comportement. Il s'agit donc ici d'élaborer une méthodologie adéquate pour comparer à la fois les résultats en apprentissage différentiel et non-différentiel, et les performances observées chez les adultes et les enfants.

4 Méthode

4.1 Sujets

Vingt enfants âgés de 7 à 8 ans (moyenne : 7.63, écart-type : 0.33) et vingt adultes de 20 à 25 ans (moyenne : 22.03, écart-type : 1.33) ont participé à l'étude. Les enfants ont été recrutés à partir de leur école primaire, et les adultes via leur université ou école. Les sujets ne sont pas rémunérés financièrement mais reçoivent une petite récompense adaptée à leur âge en fin de tâche.

4.2 Matériel

La tâche proposée a lieu dans une pièce calme et se déroule sur PC, avec le programme SuperLab Pro 2[®]. Les stimuli produits par l'ordinateur sont des sons de 500Hz et de 200ms à 1400ms. Les consignes et images dans la suite du texte apparaissent à l'écran, et les clés de réponse sont les touches « s » et « l » du clavier, marquées par des gommettes respectivement verte et rouge.

4.3 Procédure

Dans chaque groupe d'âge (enfants et adultes), les quarante sujets sont équirépartis selon deux conditions que nous détaillons ici : apprentissage non-différentiel et apprentissage différentiel. Ils y seront testés pour 7 durées, y compris la durée standard. Nous obtenons le plan d'expérience suivant :

$$S_{10} < A_2 * C_2 > * D_7$$

4.3.1 Apprentissage non-différentiel

La condition d'apprentissage non-différentiel se déroule en deux phases : apprentissage et test.

Phase d'apprentissage La consigne apparaît à l'écran et est lue à voix haute aux enfants. Dans un premier temps, un son de 800ms (stimulus standard) est présenté six fois : le sujet doit appuyer sur la touche verte suite à chacune des présentations, en prêtant attention à la durée du son. Une image apparaît pour indiquer le moment où répondre. Lorsque la bonne réponse est donnée, l'image disparaît pour laisser place à un feedback durant 2000ms (« Super, tu as tout compris !!! »). Si par contre le sujet appuie sur une autre touche ou ne répond pas, l'image reste à l'écran jusqu'à ce que la bonne réponse soit donnée.

Phase test La phase test commence ensuite par l'apparition d'une nouvelle consigne. Plusieurs sons seront joués : lorsque le son présenté est de même durée que le standard, le sujet doit appuyer sur la touche verte, tandis qu'il appuiera sur la touche rouge lorsqu'il jugera le son plus long ou plus court que le standard. Comme dans la phase précédente, la réponse doit être donnée après l'apparition de l'image, mais les bonnes réponses ne sont plus suivies d'un feedback, et les mauvaises réponses ne peuvent plus être corrigées. Si le sujet ne répond pas, l'image disparaît après 3000 ms, et le son suivant est présenté. Les tests se terminent après six blocs présentant chacun une fois dans un ordre aléatoire les sept sons de durée différente : 200ms, 400ms, 600ms, 800ms, 1000ms, 1200ms, et 1400ms.

4.3.2 Apprentissage différentiel⁵

La condition d'apprentissage différentiel se déroule en trois phases : le modelage, l'apprentissage, et le test.

Modelage et apprentissage Lors du modelage, le sujet doit appuyer sur la touche verte suite à la présentation du son de 800ms (stimulus positif) et sur la touche rouge suite à la présentation du son de 1200ms (stimulus négatif).

L'apprentissage consiste ensuite en quatre présentations de ces deux sons, dans un ordre aléatoire. Durant les phases de modelage et d'apprentissage, les bonnes réponses sont suivies d'un feedback

⁵Les passations en condition d'apprentissage différentiel ont été assurées par Katharina Strohbach (2007)

positif, pour le stimulus positif comme pour le stimulus négatif⁶. Tout comme dans la condition d'apprentissage non-différentiel, une image apparaît pour indiquer le moment à partir duquel le sujet doit répondre, et les mauvaises réponses doivent être corrigées.

Phase test La phase test se déroule de la même façon qu'en condition d'apprentissage non-différentiel.

Indépendamment de la condition, certaines informations sont données au sujet préalablement à la passation. L'expérimentateur précise qu'il s'agit d'une tâche auditive, qu'il est important de se concentrer sur la durée des sons et de ne pas parler pendant la tâche. D'éventuelles questions pourront cependant être posées pendant l'apparition des consignes. Il explique également que les réponses sont à donner uniquement après l'apparition de l'image, et qu'il ne s'agit pas d'être le plus rapide ou d'obtenir un bon score, mais simplement de répondre de son mieux. Lors de la phase d'apprentissage et en fin de phase test, les enfants obtiennent des jetons qu'ils peuvent échanger en fin de tâche contre des autocollants. Les adultes quand à eux ne reçoivent pas de jetons, mais un chocolat leur est proposé. L'expérimentateur recueille alors les impressions et répond aux questions que la passation a pu soulever.

⁶Contrairement aux procédures en go/no-go chez les animaux, où l'absence de réponse (no-go) en présence du stimulus négatif n'est pas renforcée.

5 Résultats

Les données ont été traitées sous Statistica 7.1® au moyen d'une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées et de tests post-hocs détaillés dans la suite du texte⁷. La plupart des analyses présentées concernent le plan complet. Nous nous intéresserons aux effets principaux de la durée, de l'âge et du type d'apprentissage, ainsi qu'aux effets croisés de l'âge et la durée, et de l'âge et l'apprentissage. Nous nous arrêterons également sur certaines caractéristiques de l'allure des gradients. Les données utilisées sont les proportions de réponses « oui », calculées par rapport au nombre total de présentations de stimuli comme suit : *quantité de réponses « oui » / nombre de stimuli présentés*.

Nous avons écarté de l'analyse les données de six sujets, qui ne sont donc pas inclus dans les groupes décrits. Lors de la passation d'un adulte et de deux enfants en condition d'apprentissage différentiel, un problème informatique a causé un mauvais enregistrement des données ; pour un adulte en condition d'apprentissage différentiel et un enfant en condition d'apprentissage non-différentiel, l'ambiance sonore n'était pas assez calme (bruit, présence d'une autre personne) ; un enfant en condition d'apprentissage non-différentiel n'a émis aucune réponse « oui » et s'est montré perturbé par l'image apparaissant à l'écran pour indiquer le moment de la réponse⁸. Cette dernière exclusion est bien due à une absence totale de gradient (aucune réponse « oui » quelle que soit la durée), et non à un taux de « oui » inférieur à un certain palier, ou des réponses liées au hasard. Hormis les problèmes d'enregistrement, les conditions de passation et l'absence totale de gradient, toutes les données ont été conservées dans l'analyse statistique.

5.1 Effet de la durée

Vérifions tout d'abord l'effet de la durée du stimulus, montrant le contrôle de la dimension temporelle sur le comportement opérant (tab.1). L'ANOVA indique un effet significatif de la durée du stimulus au seuil .01, $F(6, 216) = 14.65$, $p < .001$, ce qui signifie que pour les types d'apprentissage et les âges confondus, les réponses des sujets varient selon les durées des stimuli. Ainsi, la dimension temporelle du stimulus contrôle bien la réponse.

⁷Les tableaux d'analyses figurent en annexe.

⁸L'image signalant le moment de répondre et les données de ce sujet exclu figurent en annexe.

TAB. 1 – Moyenne et écart-type des proportion de réponse « oui » en fonction de la durée du stimulus.

	200ms	400ms	600ms	800ms	1000ms	1200ms	1400ms
moyenne	0.17	0.22	0.39	0.62	0.64	0.44	0.25
écart-type	0.34	0.36	0.34	0.24	0.32	0.38	0.35

5.2 Effet de l'âge

5.2.1 Effet principal de l'âge

Les réponses des sujets sont également significativement différentes selon leur âge à un seuil de .01, $F(1, 36) = 14.24$, $p < .001$, avec une proportion de « oui » moyenne égale à 0.47 chez les enfants et à 0.32 chez les adultes (tab.2). Ainsi, les enfants émettent davantage de réponses « oui » que les adultes, quelle que soit la durée et le type d'apprentissage.

TAB. 2 – Moyenne et écart type des proportions de réponses « oui » en fonction de l'âge.

	enfants	adultes
moyenne	0.46	0.32
écart-type	0.37	0.37

5.2.2 Effet d'interaction entre âge et durée

L'effet de l'interaction entre les facteurs âge et durée (fig.10) est aussi significatif, $F(6, 216) = 5.95$, $p < .001$. Ainsi la différence entre proportions moyennes de « oui » maximale et minimale est de 0.75 chez les adultes, et de 0.30 chez les enfants (tab.3), ce qui montre que les adultes discriminent les durées mieux que les enfants. Le gradient des enfants est alors plus plat que celui des adultes. Un test en post-hoc de Newman-Keuls montre de plus un gradient plus raide entre 600 et 800 ms chez les adultes que chez les enfants : la différence de proportions de « oui » à 800 et 600 ms est significative à $p < .001$ chez les adultes, et non-significative à $p = .94$ chez les enfants. On observe en outre un pic à 800ms (avec 63% de « oui ») chez les enfants et à 1000ms (avec 77% de « oui ») chez les adultes.

TAB. 3 – Moyenne et écart-type des proportions de réponses « oui » en fonction de l'âge et de la durée.

âge		200ms	400ms	600ms	800ms	1000ms	1200ms	1400ms
enfants	moyenne	0.33	0.40	0.59	0.63	0.51	0.43	0.33
	écart-type	0.42	0.41	0.28	0.20	0.33	0.39	0.40
adultes	moyenne	0.02	0.03	0.19	0.62	0.77	0.44	0.17
	écart-type	0.07	0.15	0.26	0.28	0.25	0.38	0.27

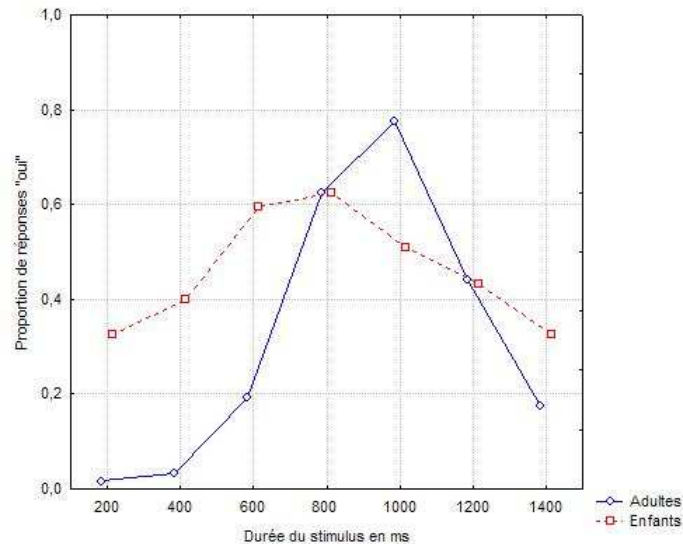


FIG. 10 – Gradient moyen des adultes et des enfants : Proportion de réponses « oui » en fonction de la durée du stimulus et de l'âge.

Une ANOVA sur les proportions de réponses « oui » à gauche et à droite de la durée standard révèle une différence de symétrie liée à l'âge ($F(1, 36) = 6.47, p < .02$) avec, d'après le post-hoc, une asymétrie droite chez les adultes et une symétrie chez les enfants (fig.11).

Malgré un plus fort taux de réponses « oui » chez les enfants, les adultes présentent un pic plus haut et un gradient moins plat : les enfants confondent les autres durées avec la durée standard plus souvent que les adultes.

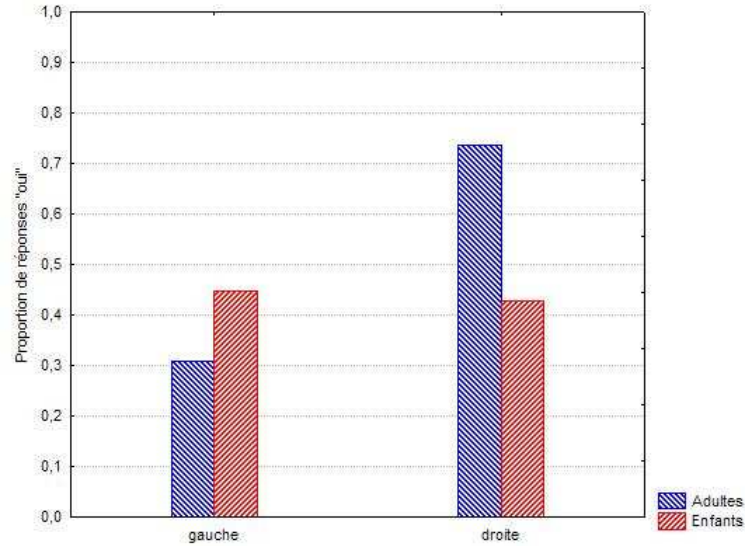


FIG. 11 – Proportion de réponses « oui » à gauche (200, 400 et 600ms) et à droite (1000, 1200 et 1400ms) du stimulus standard chez les enfants et les adultes.

5.3 Effet du type d'apprentissage

5.3.1 Effet principal du type d'apprentissage

L'ANOVA ne relève pas d'effet du type d'apprentissage, $F(1, 36) = 2.48, p = .12$ (tab.4).

TAB. 4 – Moyenne et écart-type des proportions de réponses « oui » en fonction du type d'apprentissage.

	non-différentiel	différentiel
moyenne	0.36	0.42
écart-type	0.36	0.39

5.3.2 Effets d'interaction entre type d'apprentissage et âge

Il n'y a pas d'effet d'interaction entre le type d'apprentissage et l'âge (tab.5) d'après l'ANOVA : $F(1, 36) = 0.005, p = .94$. Selon Howell (1998), il est tout de même intéressant de réaliser un test post-hoc pour identifier des tendances, les deux types d'analyse étant indépendants. Un post-hoc de Newman-Keuls sur l'interaction entre l'âge et l'apprentissage montre un effet de l'âge dans les deux

types d'apprentissage ($p = .03$ en apprentissage différentiel et en apprentissage non-différentiel), et aucun effet de l'apprentissage dans les deux tranches d'âge. L'effet de l'âge est donc bien plus important que celui du type d'apprentissage (fig.12).

TAB. 5 – Moyenne et écart-type des proportions de réponse « oui » en fonction du type d'apprentissage et de l'âge.

âge		non-différentiel	différentiel
enfants	moyenne	0.43	0.49
	écart-type	0.35	0.38
adultes	moyenne	0.29	0.35
	écart-type	0.35	0.39

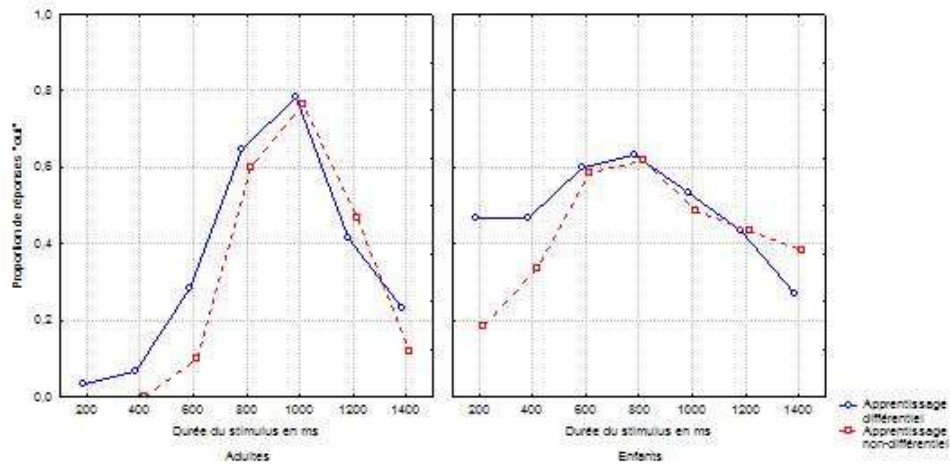


FIG. 12 – Proportion de réponses « oui » en fonction de la durée des stimuli et de l'âge, pour les deux types d'apprentissage.

5.3.3 Effet d'interaction entre type d'apprentissage et durée

Il n'y a pas non plus d'effet d'interaction entre le type d'apprentissage et la durée, $F(6, 216) = 0.42$, $p = .86$). Le post-hoc de Newman-Keuls sur l'interaction entre type d'apprentissage et durée (fig.13) nous apprend que la différence de hauteur du pic dans les deux conditions est non-significative : 63% de « oui » à 1000ms en apprentissage non-différentiel et 66% à 1000ms en différentiel (tab.6), pour $p = .94$. Ces résultats confirment bien l'impression visuelle des données.

TAB. 6 – Moyenne et écart-type des proportions de réponses « oui » en fonction du type d'apprentissage et de la durée.

type d'apprentissage		200ms	400ms	600ms	800ms	1000ms	1200ms	1400ms
non-différentiel	moyenne	0.09	0.17	0.34	0.61	0.63	0.45	0.25
	écart-type	0.24	0.29	0.34	0.20	0.29	0.39	0.36
différentiel	moyenne	0.25	0.27	0.44	0.64	0.66	0.42	0.25
	écart-type	0.41	0.42	0.33	0.28	0.36	0.38	0.34

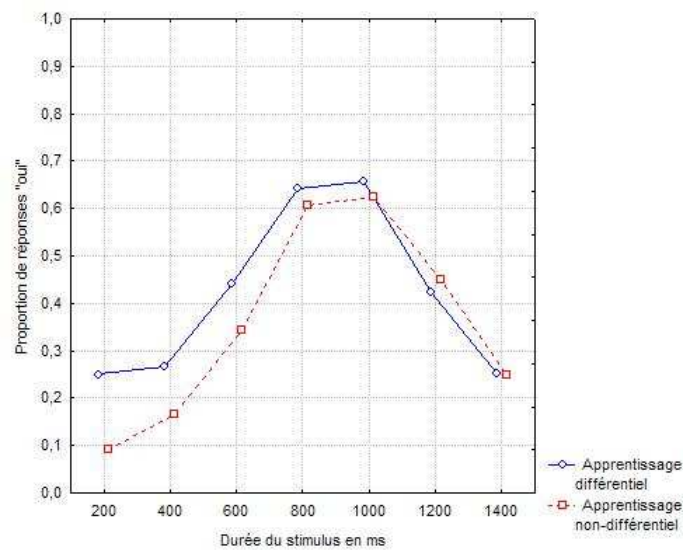


FIG. 13 – Proportions de réponses « oui » en fonction de la durée des stimuli et du type d'apprentissage.

5.3.4 Effet d'interaction entre type d'apprentissage, âge, et durée

Bien que l'ANOVA ne révèle pas d'effet significatif croisé du type d'apprentissage avec l'âge et la durée (tab.7), notons que la probabilité de dépassement s'éloigne de 1 ($F(6, 216) = 0.65$, $p = 0.69$) en introduisant le facteur âge. Un post-hoc (Howell, 1998) ne montre aucune différence selon le type d'apprentissage pour chaque âge et chaque durée.

TAB. 7 – Moyenne des proportions de réponses « oui » en fonction du type d'apprentissage, de l'âge, et de la durée.

Age	Apprentissage		200ms	400ms	600ms	800ms	1000ms	1200ms	1400ms
Enfants	Non-différentiel	moyenne	0.18	0.33	0.59	0.62	0.48	0.43	0.38
		écart-type	0.33	0.33	0.25	0.16	0.33	0.44	0.44
	Différentiel	moyenne	0.47	0.47	0.60	0.63	0.53	0.43	0.27
		écart-type	0.48	0.48	0.33	0.25	0.36	0.36	0.37
Adultes	Non-différentiel	moyenne	0.00	0.00	0.10	0.60	0.77	0.47	0.12
		écart-type	0.00	0.00	0.23	0.24	0.18	0.37	0.19
	Différentiel	moyenne	0.03	0.07	0.28	0.65	0.78	0.42	0.23
		écart-type	0.10	0.21	0.27	0.32	0.32	0.41	0.33

6 Discussion

L'objectif de cette étude était de déterminer les effets du type d'apprentissage sur les performances de discrimination de durées, chez l'adulte et chez l'enfant. Connaissant l'impact de l'apprentissage différentiel chez l'animal, nous nous proposons de vérifier celui-ci chez l'humain, et d'explorer les différences liées à l'âge. Ainsi, nous avons opté pour une tâche de discrimination-généralisation utilisée couramment chez l'humain comme chez l'animal, en faisant varier le type d'apprentissage pour deux groupes d'âge.

Nos résultats ont bien montré un contrôle de la dimension temporelle du stimulus sur le comportement pour tous les groupes et toutes les conditions, dans la tâche de discrimination-généralisation temporelle. En effet, on observe sur les gradients davantage de réponses « oui » proches de la durée standard, et des proportions plus faibles pour les durées éloignées de celle-ci. De plus, l'analyse de variance montre un effet significatif de la variable « Durée ». Détaillons à présent les autres effets observés.

Contrairement à nos attentes, nos résultats n'ont montré aucune différence significative liée au type d'apprentissage. Il nous est dès lors impossible de confirmer les conclusions entre apprentissage différentiel et non-différentiel apportées chez les animaux. Les trois caractéristiques relevées par Danahoe et Palmer (1994), à savoir la raideur autour du pic, le décalage du pic, et la hauteur du pic, ne diffèrent pas significativement d'une condition à l'autre dans nos données. Cela ne va pas davantage dans le sens de Jones et Wearden (2004), qui considèrent que le fait de conserver plusieurs standards en mémoire de référence augmente la variabilité de leur représentation, et ainsi diminue les performances de discrimination.

Trois nouvelles hypothèses basées sur nos résultats s'offrent alors à nous : contrairement à l'animal, l'humain bénéficie du même effet pour l'apprentissage non-différentiel et pour l'apprentissage différentiel (1) ; le type de données analysées a une influence non-négligeable sur les résultats (2) ; la procédure de réponse joue un rôle important dans la discrimination des durées (3).

La première hypothèse, portant sur le type d'apprentissage, est la plus directe suite à nos résultats. Avant de nous demander pourquoi l'humain bénéficierait de la même façon des deux types d'apprentissages contrairement à l'animal, voyons comment l'hypothèse pourrait être testée. Au vu de la grande hétérogénéité d'un sujet à l'autre dans nos gradients, il serait pertinent de répéter l'étude avec davantage de sujets. Intéressons-nous en particulier aux enfants de la condition d'apprentissage non-différentiel (fig.14).

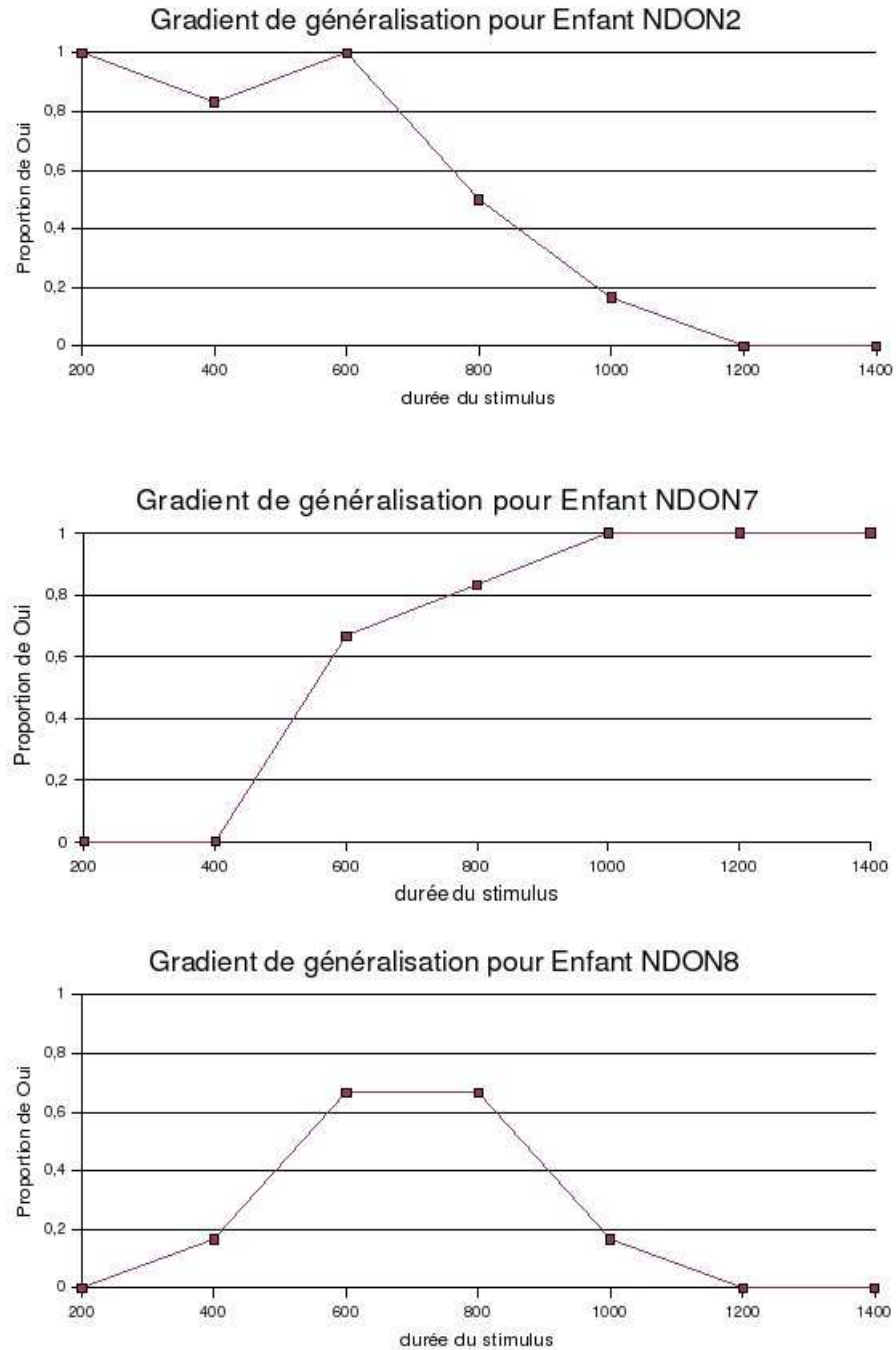


FIG. 14 – Gradients de généralisation individuels chez trois enfants différents.

Les deux premiers gradients (Enfant NDON 2 et 7) sont quasiment opposés et ne répondent pas aux critères habituels : le pic se situe à 600 ou 1000 ms, et la courbe ne descend pas d'un côté. D'autres enfants, comme NDON 8, présentent une meilleure discrimination : le pic se situe autour de la durée standard, avec une proportion dépassant 0.6 réponses « oui », et même une décroissance

de la courbe de part et d'autre du standard, atteignant une proportion nulle aux extrêmes, comme c'est le cas chez l'adulte. En voyant la courbe des données moyennes chez les enfants en condition d'apprentissage non-différentiel (fig.12), nous ne pouvons nous douter de telles hétérogénéités. Seul l'écart-type nous renseigne à ce sujet. Ainsi, nous pouvons voir dans le tableau 3 que les écart-types sont plus élevés chez les enfants que chez les adultes, et particulièrement pour les durées extrêmes où ils dépassent 0.40. Il ne nous est cependant impossible de comparer ces valeurs avec celles de la littérature, celles-ci n'étant pas publiées. Nous pouvons toutefois supposer que les écart-types sont plus acceptables dans les groupes où les sujets sont exclus sur un critère de réponses minimales (Droit-Volet, 2001). Comme nous l'avons déjà annoncé, cette pratique nous semble inappropriée, éloignant les résultats de la réalité, et niant la variabilité inter-individuelle au profit d'un modèle. Ainsi, nous proposons plutôt de réaliser la tâche dans un échantillon plus important de sujets, afin d'effacer l'impact de ces différences inter-individuelles, et nous soulignons l'importance d'annoncer les écart-types.

Les écart-types apportent en effet un indice de dispersion des données. Ceux que nous avons obtenus en fonction des durées diffèrent visuellement selon l'âge mais également selon le type d'apprentissage (fig.15).

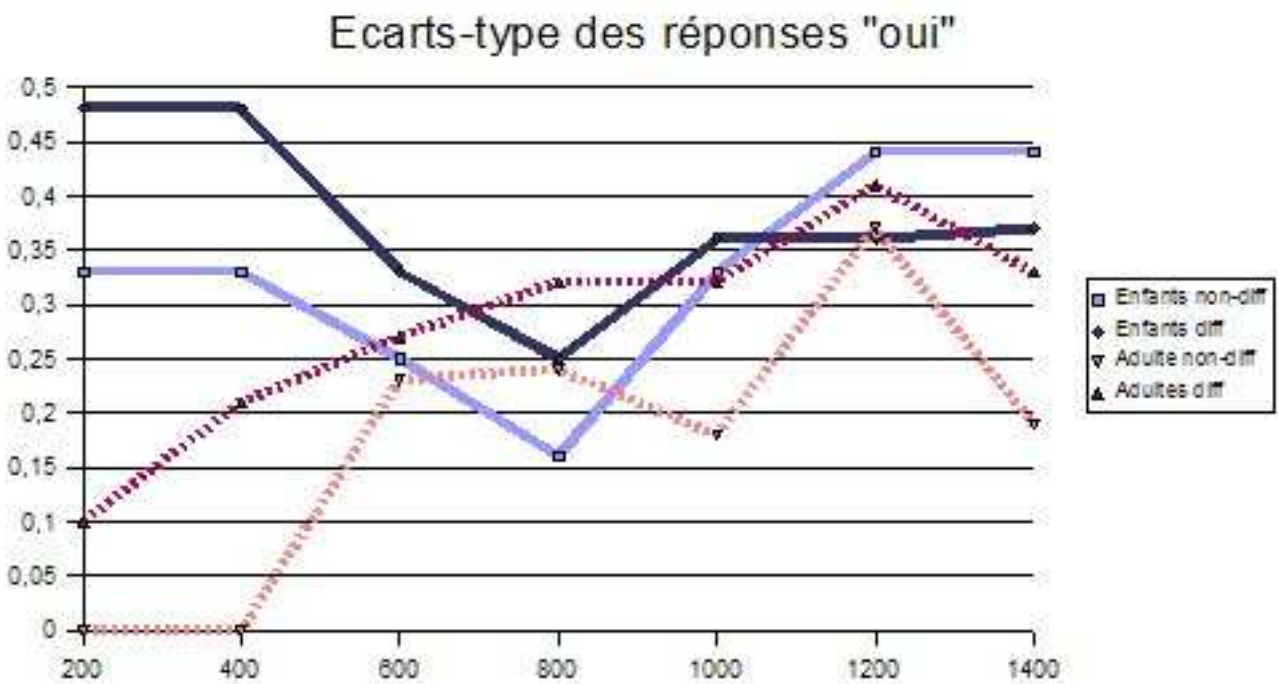


FIG. 15 – Ecart-types des proportions de « oui » en fonction de la durée, de l'âge, et de l'apprentissage.

Nous pouvons voir que globalement, les écart-types en apprentissage différentiel sont plus élevés que ceux obtenus en apprentissage non-différentiel. Ceux des enfants présentent un minimum au lieu du pic (800ms) du gradient de généralisation. Ceci montre que chez les enfants, les différences inter-individuelles sont plus faibles autour du pic que pour les autres durées. En outre les enfants ayant bénéficié de l'apprentissage différentiel semblent davantage en accord pour le stimulus négatif que pour les durées plus courtes que le standard positif, et que ceux de la condition d'apprentissage non-différentiel pour les durées longues. Chez les adultes en revanche, les meilleurs « consensus » se trouvent aux durées extrêmes (et davantage aux courtes qu'aux longues), jugées le plus souvent comme différentes de la durée standard. Nous observons également une diminution de l'écart-type au niveau du pic (1000ms), avec une augmentation des différences inter-individuelles moins prononcées pour 1200ms en apprentissage différentiel qu'en apprentissage non-différentiel.

La seconde hypothèse porte sur le type de données prises en compte dans l'analyse statistique. Comme nous l'avons annoncé précédemment, nous avons utilisé dans notre analyse la proportion de réponses « oui » rapportée au nombre d'essais, dans le but de tenir compte des non-réponses, c'est à dire $oui/(oui + non + NR)$ au lieu de $oui/(oui + non)$. Ainsi, une proportion de « oui » de 0.66 peut tout aussi bien résulter de 0.17 « non » et 0.17 non-réponses, comme de 0.00 « non » et 0.34 non-réponses, ou de 0.34 « non » et 0.00 non-réponses. Autrement dit, une proportion de « oui » de 0.66 dans notre étude pourrait équivaloir à 0.5 comme à 1, sans prise en compte des non-réponses. Cependant, la prise en compte des non-réponses, que nous avons réalisée par ailleurs, n'a pratiquement pas modifié les proportions de « oui » obtenues dans nos résultats chez les adultes et les enfants de 8 ans. Ainsi, elle ne devrait pas avoir une influence importante dans les études auxquelles nous nous référons, comme par exemple pour le groupe d'enfants de 8 ans de Droit-Volet 2002. La différence sera plus importante dans un groupe qui émet davantage de non-réponse. Cela aurait pu être le cas du groupe bénéficiant d'un apprentissage différentiel, d'où l'intérêt de la prise en compte des non-réponses. Nous pouvons donc rejeter cette hypothèse pour expliquer les différences de nos données d'avec celles de la littérature.

Cette question est en outre résolue dans notre troisième hypothèse, portant sur la procédure de réponse. Celle-ci propose une comparaison avec des réponses en go/no-go plutôt qu'en oui/non, dans le but premier de comparer les données obtenues chez l'humain et chez l'animal avec des procédures plus proches. Il existe effectivement des différences à considérer. Tout d'abord, pour une condition d'apprentissage non-différentiel, dans une procédure en go/no-go, le sujet apprendra à appuyer sur le bouton vert pour le stimulus standard, et sera testé avec la même consigne, tandis qu'en oui/non, une nouvelle règle est énoncée avant le test : appuyer sur le bouton rouge lorsqu'il ne s'agit pas du standard. Cette seconde règle ne fait pas intervenir d'apprentissage dans la procédure. Ainsi nous attendrions une meilleure discrimination en go/no-go pour l'apprentissage

non-différentiel (Kauffmann, 2007). D'autre part, en ce qui concerne l'apprentissage différentiel, le sujet en go/no-go apprendra à appuyer sur la touche verte pour le stimulus positif, et à ne pas appuyer pour le stimulus négatif. Ce sont deux réponses très différentes, contrairement au choix entre deux touches en oui/non. Cependant, comme nous l'avons vu dans notre première partie (2.1), au cours de l'apprentissage différentiel et en présence du stimulus négatif, l'absence de réponse dans une procédure en go/no-go chez l'animal n'est pas renforcée, contrairement à la réponse « non » dans une procédure en oui/non chez l'humain. Il sera donc intéressant, pour les deux types d'apprentissage, de comparer d'une part les résultats chez l'humain en oui/non et en go/no-go, et d'autre part les résultats en go/no-go chez l'humain et chez l'animal. L'effet du type d'apprentissage sera ainsi dissociable du type de réponse.

Au delà du type de réponse, d'autres aspects de la procédure diffèrent dans les tâches proposées à l'animal et à l'humain. Parmi ceux-ci, le moyen de répondre (un bouton sur lequel appuyer, une clé à picorer, un perchoir où se poser, un écran tactile...), le renforçateur (une image, une musique, un dessin animé, un texte...), et les consignes (orales, écrites, ou implicites à l'apprentissage). Plutôt que d'élaborer pour l'humain une procédure identique à celle de l'animal, il serait intéressant d'étudier l'impact de ces variables, et de connaître les modalités les plus efficaces pour l'animal et pour l'humain. C'est ce que proposent Clément, Lattal, Rivière & Darcheville (In press) dans une revue concernant les enfants et les nourissons. Les nourissons présentent cet intérêt particulier d'être encore dépourvus de langage. Il en découle davantage de similitudes avec les procédures pour les animaux.

L'effet de l'âge que nous avons observé a également été souligné par Droit-Volet. Elle n'observe cependant pas les mêmes modifications. Le pic se situe au niveau de la durée standard dans les deux cas, mais elle constate une symétrie pour les jeunes enfants (3 et 5 ans) et déjà une asymétrie droite à 8 ans, là où nous obtenons encore une symétrie. De plus, la proportion de réponses « oui » aux extrêmes reste supérieure à 0.3 dans notre étude, alors qu'elle descend en dessous de 0.1 à gauche et 0.2 à droite chez Droit-Volet. Enfin, la quantité globale de réponses « oui » augmente avec l'âge chez Droit-Volet, tandis qu'elle diminue dans nos résultats. Les deux premières différences évoquées peuvent être expliquées par le choix d'exclusion de données. En effet, ayant choisi de conserver toutes les données recueillies pour l'analyse dans le but de rester le plus proche de la réalité, le gradient de certains sujets a pu présenter les critères d'exclusion de Droit-Volet tout en étant conservé dans notre analyse. Ainsi, nos sujets peuvent sembler moins performants en moyenne par rapport à leur âge dans la tâche de discrimination temporelle. Nous obtenons alors une différence entre adultes et enfants de 8 ans, alors que Droit-Volet (2001 et 2002) considère les résultats de ces derniers déjà proches de ceux des adultes. Les proportions de « oui » bien supérieures à 0 aux extrêmes sont interprétées par Droit-Volet (2002) par des réponses liées au

hasard. Ceci signifierait alors que nos deux types d'apprentissage ont été moins efficaces que celui effectué par Droit-Volet. La troisième différence ne s'explique pas de la même façon, car sans exclure les enfants présentant peu de réponses « oui », nous obtenons une moyenne de « oui » chez les enfants supérieure à celle des adultes. Ceci peut être dû en partie aux réponses d'un sujet adulte très différentes du reste de l'échantillon, mais surtout au fait d'avoir demandé aux enfants de répondre de leur mieux et sans avoir peur de se tromper, même quand ils ne sont pas certains. Rappelons encore que nous n'avons pas utilisé de feedback durant la phase test, comme dans les procédures pour l'animal. Or le feedback a un impact important d'après Droit-Volet (2005), et explique aussi une part de différences dans nos résultats, mais nous permet une comparaison avec les études sur les animaux.

Enfin, nos résultats concernant les adultes en condition non-différentielle sont partiellement cohérents avec ceux de Wearden en 1991. En effet, malgré un pic décalé vers la droite (1000ms au lieu de 800ms), nous observons comme lui une asymétrie droite. Dans son étude, Wearden constate que les humains montrent une meilleure discrimination des durées que les animaux, contrairement aux conclusions précédentes de Gibbon en 1977. Il explique cette contradiction par la façon dont les calculs des coefficients du modèle ont été effectués : Gibbon les a réalisés à partir de la modélisation alors que Wearden a directement utilisé les données. Ainsi, la modélisation produit des résultats différents de l'expérience. Ceci remet une fois de plus en cause le modèle de la SET, dans son utilisation même. Wearden relève de plus une différence dans la règle de décision entre l'animal et l'humain, d'où la nécessité selon lui d'une adaptation du modèle pour l'humain. Mais il souligne que les procédures utilisées jouent sans doute un rôle dans ces différences. Bien qu'il s'agisse dans le cas évoqué de tâches de bisection, ceci s'approche de notre troisième hypothèse.

Différentes pratiques liées à la SET, notamment l'élimination de données lors de l'analyse statistique et les contradictions entre les prédictions du modèle et les résultats, nous entraînent à remettre en question la validité du modèle théorique même. En ce sens, nous rejoignons Machado et Pata (2005) dans leur entreprise de déterminer le modèle le plus proche de la réalité empirique entre Let et SET. Le Let présente également l'avantage d'être identique pour les animaux et les humains, sans application de coefficients superflus. La comparaison des résultats pour les deux populations pourra alors s'effectuer sur le même niveau. Par contre, si le type d'apprentissage se révèle avoir un impact différent chez l'animal et chez l'humain comme le laisse supposer notre étude, le LeT ne sera pas plus en mesure d'en expliquer les raisons. Un modèle rendant compte du processus d'apprentissage en temps réel sera alors nécessaire. En 1997, Higa et Staddon (Higa & Staddon, 1997, cités par Clément, 1999) proposent un modèle alternatif : le *Multiple Time Scale model* (MTS) ou modèle à multiples échelles de temps. Staddon (2005) constate que tous les événements n'ont pas la même valeur de marqueur temporel : chez l'animal par exemple, la nourriture est mieux rap-

pellée qu'un quelconque stimulus neutre. Il suggère alors la trace mnésique comme suffisante au contrôle de la dimension temporelle sur le comportement. Le processus dynamique en jeu serait le même que celui sous-tendant l'habituation. Le modèle MTS tente ainsi d'intégrer les données empiriques dans un même processus rendant compte de la façon dont les événements servant de marqueur temporel sont encodés, sans supposer l'existence d'une horloge interne.

En conclusion, nous avons bien observé un contrôle temporel de la réponse et un effet de l'âge significatif. Le type d'apprentissage n'a quant à lui montré aucun effet significatif, contrairement à ce que nous attendions au regard des résultats auprès d'animaux. Nous proposons alors de déterminer ultérieurement d'éventuels facteurs parasites liés à la procédure pour les maîtriser, ainsi que d'élargir les échantillons pour effacer les différences inter-individuelles tout en évaluant celles-ci en fonction des durées.

Références

Clément, C. (1999). *L'ontogenèse du contrôle temporel du comportement humain envisagé comme un système dynamique non linéaire*. Thèse de Doctorat non Publiée. Université Charles de Gaulle Lille 3, France.

Clément, C., Darcheville, J.C. & Rivière, V. (2001). Modélisation du contrôle temporel du comportement sous contingences de renforcement : Une revue. *Acta Comportamentalia* 9(2), 213-250.

Clément, C. (2004). Théorie des systèmes dynamiques et analyse du comportement : Vers la fin de l'horloge interne ? *Acta Comportamentalia* 12(2), 141-155.

Clément, C. (2006). *Apprentissage et conditionnements*. Paris : Dunod.

Clément, C., Lattal, K.A., Rivière, V. & Darcheville, J.C. (In press). Understanding the ontogenesis of the temporal regulation in infants and children : An evaluation of the procedures. *European Journal of Behavior Analysis*.

Danahoe, J.W. & Palmer, D.C. (1994). *Learning and Complex Behavior*. Boston : Dorsel.

Droit-Volet, S., Clément, A. & Wearden, J. (2001). Temporal Generalization in 3- to 8-Year-Old Children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 271-288.

Droit-Volet, S. (2002). Scalar timing in temporal generalization in children with short and long stimulus durations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55A(4), 1193-1209.

Droit-Volet, S. & Izaute, M. (2005). The effect of feedback on timing in children and adults : The temporal generalization task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58A(3), 507-520.

Elsmore, T.F. (1971). Control of responding by stimulus duration. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 16, 81-87.

Ferrara, A. (1999). *Dynamique de l'adaptation au temps et modèle de l'horloge interne*. Thèse de Doctorat non Publiée. Université de Liège, Belgique.

Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, 84(3), 279-325.

Gibbon, J. & Church, R.M. (1981) Time left : linear versus logarithmic subjective time. *Journal of Experimental Psychology : Animal Behavior Process*, 7(2), 87-108.

Gibbon, J., Church, R.M. & Meck, W.H. (1984). Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of the Sciences*, 423, 52-77.

Gibbon, J. & Fairhurst, S. (1994). Ratios versus difference comparators in choice. *Journal of experiment analysis of behavior*, 62, 409-434.

Howell, D.C. (1998). *Méthodes statistiques en sciences humaines*. Boston : De Boeck.

Jones, L.A. & Wearden, J.H. (2004). Double standards : Memory loading in temporal reference memory. *The quarterly journal of experimental psychology*, 57B(1), 55-77.

Kauffmann, A. (2007). *La discrimination temporelle : étude comparative d'adultes et d'enfants tout venant dans un protocole de discrimination-généralisation*. Mémoire de Master 1 non publié. Université Louis Pasteur Strasbourg 1, France.

Lejeune, H. & Macar, F. (1994). Régulations temporelles. In M. Richelle, J. Requin, M. Robert (Eds.), *Traité de psychologie expérimentale* (pp. 898-903). Paris : PUF

Machado, A. (1997). Learning the temporal dynamics of behavior. *American Psychological Association*, 104(2), 241-265.

Machado, A. & Keen, R. (1999). Learning to time (LeT) or scalar expectancy theory (SET) ? A critical test of to models of timing. *American psychological society*, 10(3), 285-290.

Machado, A. & Pata, P. (2005). Testing the scalar expectancy theory (SET) and the learning-to-time model (LeT) in a double bisection task. *Learning & behavior*, 33(1), 111-122.

Nicolas, S. (1998). Naissance de la psychologie scientifique. In J.-L. Roulin (Ed.), *Psychologie cognitive* (pp. 21-25). France : Bréal.

Rattat, A.C. (2003). *Le développement des conduites d'estimation du temps chez l'enfant : le rôle de la mémoire à long terme dans le cadre des modèles d'horloge interne*. Thèse de Doctorat non Publiée. Université Blaise Pascal Clermont 2, France.

Staddon, J.E.R. (2005). Interval timing : memory, not a clock. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), 312-314

Strohbach, K. (2007). *L'impact de la procédure d'apprentissage dans une tâche de discrimination-généralisation temporelle : une perspective développementale*. Mémoire de Master 1 non publié. Université Louis Pasteur, Strasbourg 1. France.

Wearden, J.H. (1991). Human performance on an analogue of an interval bisection task. *The quarterly journal of experimental psychology*, 43(1), 59-81.

Wearden, J.H. (1992). Temporal Generalization in Humans. *Journal of Experimental Psychology : Animal Behavior Processes*, 18(2), 134-144.

Wearden, J.H. & Culpin, V. (1994). Exploring Scalar Timing Theory with Human Subjects. In M. Richelle & V. De Keynes (Eds), *Time and the dynamic control of behavior* (pp.). Liège : IPA Symposium.

Weisman, R., Brownlie, L., Olthof, A., Njegovan, M., Sturdy, C. & Mewhort, D. (1999). Timing and Classifying Brief Acoustic Stimuli by Songbirds and Humans. *Journal of Experimental Psychology : Animal Behavior Processes*, 25(2), 139-152.

Table des annexes

- Schéma des « balances » de la loi de Weber
- Lettre au directeur de l'école
- Lettres aux parents
- Tableau d'ANOVA
- Tableaux des analyses post-hoc
- Image signalant le moment où le sujet peut répondre et résultats du sujet perturbé exclu des analyses

Résumé

Après la présentation des deux théories dominantes dans la discrimination des durées, la Scalar Expectancy Theory et le Learning to Time model, ainsi que des diverses procédures utilisées dans ce champ d'études, nous nous intéressons aux différences existant chez l'humain dans une tâche de discrimination-généralisation temporelle après un apprentissage non-différentiel ou différentiel. Les comparaisons entre le groupe d'enfants et le groupe d'adultes montrent des différences de discrimination selon l'âge, mais non selon le type d'apprentissage. Les résultats chez l'animal n'étant pas cohérents avec ceux de notre étude chez l'humain, nous proposons plusieurs pistes à éclaircir avant de conclure.

Mots clés : discrimination-généralisation, SET, LeT, apprentissage différentiel, contrôle temporel du comportement.